

# 下水処理場におけるN<sub>2</sub>Oの削減対策の検討

上野 広行 辰市 祐久 大岩川 由有子

## 要 旨

下水処理場におけるN<sub>2</sub>O排出量削減対策を検討することを目的とし、水処理過程、汚泥処理過程でのN<sub>2</sub>Oの排出要因について調査を行った。

ばっ気槽から排出される空気中のN<sub>2</sub>O濃度は概ね 0.3~15ppmの範囲にあり、処理水中の硝酸態窒素濃度とは相関があった。すなわち、ばっき槽の硝化が進むとN<sub>2</sub>O発生量が多くなることが分かった。汚泥焼却炉から排出されるN<sub>2</sub>O濃度は 80~170ppm程度であり、N<sub>2</sub>O濃度は汚泥投入量には依存せず、炉の高温部（フリーボード）の温度と逆相関の関係にあった。すなわち、汚泥投入量を少なくすると炉内温度は下がり、N<sub>2</sub>O濃度は逆に高くなった。各処理過程におけるN<sub>2</sub>O排出量を計算した結果、最初沈殿池、汚泥濃縮槽からの排出量は非常に少なく、ばっき槽からの排出量も焼却炉の10分の1以下であり、下水処理場では汚泥焼却炉が最も大きい発生源であることが分かった。以上の結果から、下水処理場におけるN<sub>2</sub>O対策としては、汚泥焼却炉の炉内温度を上げることにより、焼却炉からのN<sub>2</sub>O排出量を削減することが最も効果的であると考えられる。

Reduction of Nitrous Oxide in Sewage Treatment Plants.

Hiroyuki Ueno, Sukehisa Tatsuichi and Yuko Oiwakawa

## Summary

In order to examine the method of reduction of Nitrous Oxide(N<sub>2</sub>O) in sewage treatment plants, N<sub>2</sub>O emissions have been analyzed from both waste water treatment and sludge treatment processes. N<sub>2</sub>O concentration of the blowed air from aeration tank was in the range of 0.3-10ppm and correlated with NO<sub>3</sub>-N concentrations of mixed liquor in the tank. N<sub>2</sub>O was largely produced at the promoted part of nitrification. The sludge incinerators yielded N<sub>2</sub>O emission level of 80-170ppm. N<sub>2</sub>O concentration was dependent on the furnace temperature though independent on the feed of sludge. To reduce the N<sub>2</sub>O emissions, it seems that sludge incineration in higher temperature could be effective.

## 1 はじめに

筆者ら<sup>1-6)</sup>は、これまで燃焼施設を中心に、主要な固定発生源から排出されるN<sub>2</sub>Oについて調査を行ってきた。その結果、汚泥焼却炉が現在都内で最も大きなN<sub>2</sub>Oの発生源と考えられることを明らかにした。

また、N<sub>2</sub>Oをはじめとする地球温暖化物質については、燃焼施設の他、排水処理過程からも排出されている

可能性が指摘されている<sup>7,8)</sup>。しかしながら、排水処理過程でのN<sub>2</sub>O排出実態については必ずしも明らかではない。

本研究では、下水処理場におけるN<sub>2</sub>O排出量削減対策を検討することを目的として調査を行った。水処理過程については、N<sub>2</sub>Oの排出実態を把握するとともに、排出要因を検討するために処理過程水の水質分析も行っ

た。汚泥処理過程では、焼却炉の運転条件を変化させ  $N_2O$  排出挙動を検討した。

## 2 調査

### (1) 調査対象施設

$N_2O$  排出量は処理過程における窒素の挙動に影響を受ける可能性があるため、調査は硝化の度合いが比較的異なる2か所の下水処理場で行った。施設の概要は表1に示すとおりであり、処理フローはどちらの処理場もほぼ同じなので、その概要を図1に示す。

表1 調査対象施設

	A下水処理場		B下水処理場
	合流式	分流式	合流式
下水排除方式	合流式	分流式	合流式
計画処理水量 日最大 (m <sup>3</sup> )	82,000	52,100	77,500
汚泥焼却炉 (流動層式)	60t/d		45t/d

(注) 処理方式は活性汚泥法

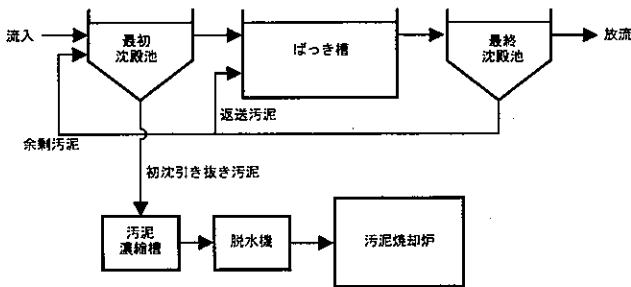


図1 処理フロー概略図

### (2) 測定方法

#### ア 水処理過程

水処理過程での  $N_2O$  排出状況については、ばっ気槽を中心に調査した。試料は、ばっ気槽の上流から下流にかけて数カ所で、水面から空気をテドラーバッグに採取した。 $N_2O$  濃度は、既報<sup>6)</sup>と同様にECD付きガスクロマトグラフ (HP5890) により分析した。また、B処理場では、ばっき空気中の  $N_2O$  濃度の連続測定及び最初沈殿池からの排気ダクトにおける  $N_2O$  濃度の測定も行った。 $N_2O$  濃度の連続測定には赤外線吸収式の連続測

定器 (堀場VIA-510) を用いた。最初沈殿池からの排ガス中  $N_2O$  濃度の測定は、ダクトからガスをテドラーバッグに採取しECD付きガスクロマトグラフにより分析した。

水質については、最初沈殿池後、ばっき槽の各部位、最終沈殿池後において、水をポリエチレンビンに採取した。これを速やかにろ過し、全窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素をオートアナライザー (テクニコンオートアナライザーII) により分析した。

#### イ 汚泥処理過程

汚泥処理過程での  $N_2O$  の排出状況については、汚泥濃縮槽の排気ダクト及び汚泥焼却炉において排ガス中  $N_2O$  濃度を測定した。

汚泥濃縮槽排ガスの  $N_2O$  はダクトからテドラーバッグにガスを採取し、ECD付きガスクロマトグラフにより分析した。汚泥焼却炉の排ガス中  $N_2O$  は、赤外線吸収法により連続測定した。同時に  $O_2$ 、 $NO_x$ 、 $CO$  も連続測定した。 $O_2$  は磁気式、 $NO_x$  は化学発光法、 $CO$  は赤外線吸収法の測定器を用いた。

## 3 結果及び考察

### (1) 水処理過程における $N_2O$ の排出状況

表2に水処理過程における調査結果の概要を示す。

最初沈殿池からの換気ダクト排ガス中の  $N_2O$  濃度はB処理場で0.8ppmと低かった。

ばっき空気中の  $N_2O$  濃度は概ね 0.3~15ppm の範囲にあった。平均的な  $N_2O$  濃度は表2に示すように、2~6ppm程度であり、A処理場 (分流)、B処理場、A処理場 (合流) の順に濃度が高かった。放流水の水質を見ると、B処理場、A処理場 (分流) は放流水の全窒素濃度は流入水の5割程度になっており、A処理場 (合流) に比較して、硝化・脱窒が進んでいることが分かる。このことから、 $N_2O$  濃度は硝化・脱窒が進んでいるほど高くなる傾向にある。なお、 $N_2O$  濃度はばっき風量の小さい所ほど濃度が高くなっており、空気による希釈効果が現れていることも否定できない。

図2にB処理場のばっき槽から排出される  $N_2O$  濃度の経時変化を示す。 $N_2O$  濃度は3~15ppmの範囲で変化しているが、この変化は処理水量と関係があると考えられる。すなわち、処理水量が多くなれば発生する  $N_2O$  も増えるためである。図2には処理水量の経時変化も

示しているが、処理水量は、N<sub>2</sub>O濃度と8時間程度のずれがあるものの、同様の変化パターンを示している。この時間のずれは、ばっき槽における滞留処理時間とほぼ一致しており、上記のことを裏付けている。

表2 水処理過程における測定結果の概要

		A処理場		B処理場
		合流式	分流式	合流式
最初沈殿池非ガスN <sub>2</sub> O濃度(ppm)		—	—	0.81
最初沈殿池非ガス風量(m <sup>3</sup> /d)		—	—	259000
ばっき空気中平均N <sub>2</sub> O濃度(ppm)		1.9	6.0	4.0
ばっき風量(m <sup>3</sup> /d)		303000	157000	277000
処理水量(m <sup>3</sup> /d)		41400	33000	50000
流入水 水質	T-N(mg/l)	28	23	14
	NH <sub>2</sub> -N(mg/l)	25	17	9.7
	NO <sub>2</sub> -N(mg/l)	0.053	0.029	0.06
	NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	4.1	4.3	6.4
放流水 水質	T-N(mg/l)	22	13	7.3
	NH <sub>2</sub> -N(mg/l)	14	9.5	0.74
	NO <sub>2</sub> -N(mg/l)	0.42	0.24	0.12
	NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	4.1	4.3	6.4

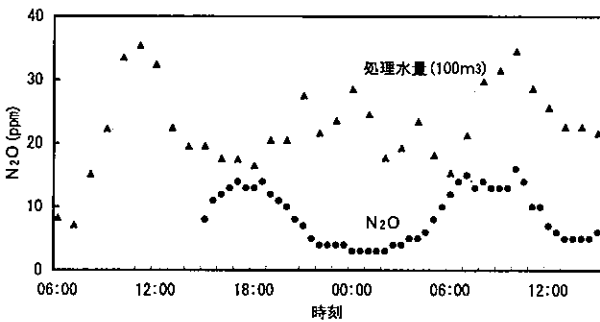


図2 B処理場ばっき空気中N<sub>2</sub>O濃度の経時変化

ばっき槽の上流から下流にかけて測定した個々のN<sub>2</sub>O濃度は、概ね0.3~15ppmの範囲にあり、どの施設においても下流側で濃度が高くなる傾向にある。図3にその様子を示すとともに、合わせて処理過程水の水質も示す。この図から、ばっき槽に流入してきたアンモニア態窒素が下流に行くにつれ、硝化作用により硝酸態窒素に変化しており、N<sub>2</sub>Oは硝酸態窒素濃度の高い場所で多く発生していることが分かる。A処理場(分流)にお

けるN<sub>2</sub>O濃度と処理水中の硝酸態窒素濃度との関係を図4に示すが、両者には明らかに相関関係があり、ばっき槽の硝化の進んだ部位ではN<sub>2</sub>O発生量が多い。

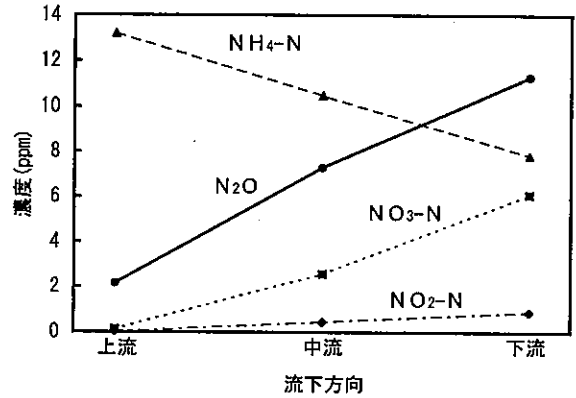


図3 ばっき空気中N<sub>2</sub>O濃度及び処理水の形態別窒素濃度(A処理場分流)

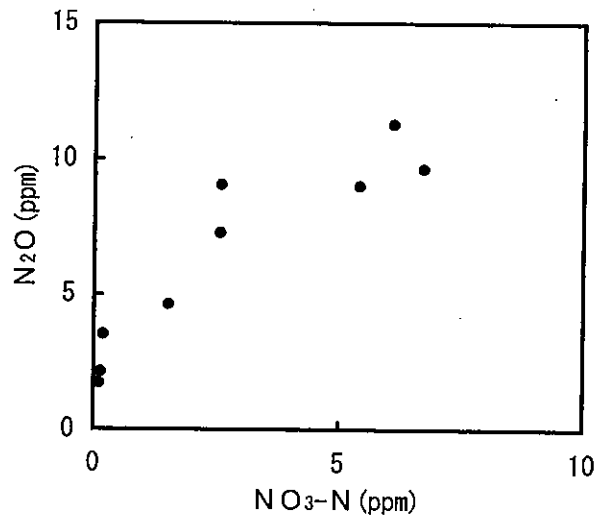


図4 ばっき槽における処理水中硝酸態窒素濃度とばっき空気中N<sub>2</sub>O濃度との関係(A処理場分流)

(2) 汚泥焼却炉におけるN<sub>2</sub>O排出状況

表3に汚泥処理過程における調査結果の概要を示す。汚泥焼却炉から排出されるN<sub>2</sub>O濃度はA処理場では白煙防止空気入口前で80ppm程度であった。これに対し、B処理場では煙突で170ppm程度であり、酸素濃度も高く空気による希釈効果があるにもかかわらずA処理場に比べ2倍以上高濃度であった。なお、N<sub>2</sub>Oの連続測定を行ったところ、どちらの炉も通常の運転では安定しており、N<sub>2</sub>O濃度に大きな変化はなかった。

焼却炉におけるN<sub>2</sub>O濃度に影響を与える要因としては、汚泥中の窒素含有量、凝集剤の種類、炉内温度、炉

内酸素濃度が考えられる<sup>2,9-11)</sup>。汚泥の窒素含有量については、表3に示すように両処理場で大きな差はなく、凝集剤についてはどちらも高分子凝集剤を用いていた。

表3 汚泥処理過程における測定結果の概要

		A処理場	B処理場
汚泥濃縮槽	N <sub>2</sub> O (ppm)	1.5	0.46
	排ガス風量(m <sup>3</sup> /d)	86400	101000
汚泥焼却炉	測定場所	白煙防止前	煙突
	ガス量(Nm <sup>3</sup> /h)	5570	6530
	N <sub>2</sub> O (ppm)	76	170
	O <sub>2</sub> (%)	9.2	13.5
	NO <sub>x</sub> (ppm)	14	3
	CO (ppm)	50	92
炉内温度 (°C)		890	830
汚泥中窒素含有量(%)ドライベース		4.6	4.0

このため、ここでは炉の運転状態がN<sub>2</sub>O濃度に与える影響を検討するため、焼却炉への汚泥投入量を変化させることにより、運転条件を変化させて測定を行った。A処理場における結果を図5に示すが、汚泥投入量を段階的に減少させたところ、N<sub>2</sub>O濃度は逆に高くなった。

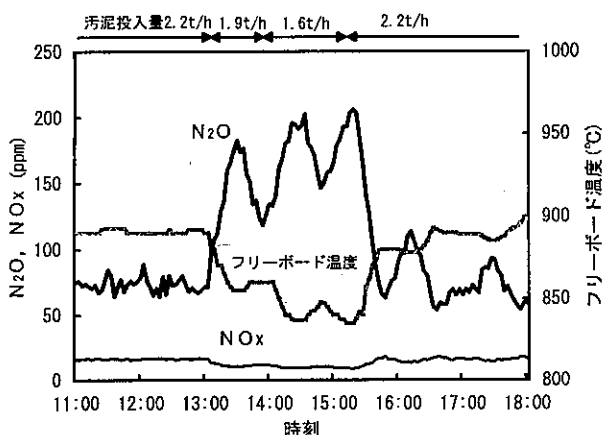


図5 N<sub>2</sub>O濃度、NO<sub>x</sub>濃度及びフリーボード温度の経時変化 (A焼却炉)

この時の酸素濃度、NO<sub>x</sub>濃度等の測定項目を検討した結果、N<sub>2</sub>O濃度は、炉の高温部(フリーボード)の温度と高い逆相関の関係にあった。すなわち、汚泥投入

量を少なくすると炉内温度は下がり、N<sub>2</sub>O濃度は逆に高くなった。B処理場における結果も同様の傾向であり、N<sub>2</sub>O濃度に影響を及ぼす原因としては、炉内温度が最も大きいと考えられた。炉内温度とN<sub>2</sub>O濃度との関係を図6に示す。炉内温度が880°CのときN<sub>2</sub>O濃度は100ppm程度であるが、800°Cでは500ppmまで増加した。以上のことから、表3において、通常の運転時にB処理場の方がA処理場より2倍もN<sub>2</sub>O濃度が高かったのは、炉内温度が低いためであると考えられる。

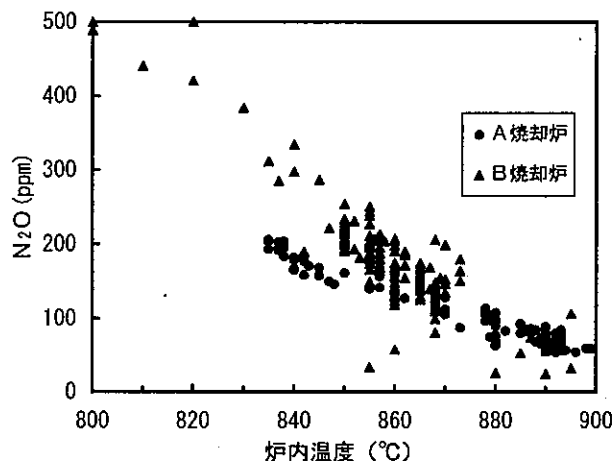


図6 炉内温度と排ガス中N<sub>2</sub>O濃度との関係

(3) 各処理過程におけるN<sub>2</sub>O排出量

N<sub>2</sub>O排出濃度とガス量から、各処理過程におけるN<sub>2</sub>O排出量を計算した結果を表4に示す。最初沈殿池、汚泥濃縮槽からの排出量は非常に少なく、ばき槽からの排出量も焼却炉の10分の1以下であり、下水処理場の施設の中では、焼却炉が最も大きな発生源であった。したがって、下水処理場におけるN<sub>2</sub>O対策としては、焼却炉から発生するN<sub>2</sub>Oを炉内温度を上げることにより削減することが最も効果的であると言える。図6において、炉のフリーボード部の温度を通常870°Cから900°Cまで上げれば、N<sub>2</sub>O濃度を110ppmから50ppmまで下げることができる。炉の温度を上げる際には当然NO<sub>x</sub>濃度の上昇に注意しなければならないが、汚泥焼却炉ではNO<sub>x</sub>濃度は元々低く、炉内温度を上げて20ppm程度であり、問題にはならないと考えられる。

4 まとめ

下水処理場におけるN<sub>2</sub>O排出量削減対策を検討することを目的とし、水処理過程、汚泥処理過程でのN<sub>2</sub>O

の排出要因について調査を行った。その結果、次のことが明らかになった。

(1)ばっ気槽から排出される空気中のN<sub>2</sub>O濃度は概ね0.3~15ppmの範囲にあり、処理水中の硝酸態窒素濃度とは相関があった。すなわち、ばっき槽の硝化が進むとN<sub>2</sub>O発生量が多くなることが分かった。

(2)汚泥焼却炉から排出されるN<sub>2</sub>O濃度は80~170ppm程度であり、N<sub>2</sub>O濃度は汚泥投入量には依存せず、炉の高温部（フリーボード）の温度と逆相関の関係にあった。すなわち、汚泥投入量を少なくすると炉内温度は下がり、N<sub>2</sub>O濃度は逆に高くなった。

(3)各処理過程におけるN<sub>2</sub>O排出量を計算した結果、最初沈殿池、汚泥濃縮槽からの排出量は非常に少なく、ばっき槽からの排出量も焼却炉の10分の1以下であり、下水処理場では汚泥焼却炉が最も大きい発生源であることが分かった。

(4)以上の結果から、下水処理場におけるN<sub>2</sub>O対策としては、汚泥焼却炉の炉内温度を上げることにより、焼却炉からのN<sub>2</sub>O排出量を削減することが最も効果的であると考えられる。

表4 各処理過程からの単位処理水量当たりN<sub>2</sub>O排出量 (mg-N/m<sup>3</sup>)

	A処理場		B処理場
	合流式	分流式	合流式
最初沈殿池	-	-	5.3
ばっき槽	17	36	28
汚泥濃縮槽	2.2		1.3
汚泥焼却炉	180		670

参考文献

1) 岩崎好陽ら：固定発生源から排出されるN<sub>2</sub>Oに関する検討，東京都環境科学研究所年報1990，p25~28.  
 2) 岩崎好陽ら：固定発生源からのN<sub>2</sub>O排出状況とその生成に関する考察，大気汚染学会誌，27，p85~91 (1992).  
 3) 上野広行ら：ごみ焼却炉からの亜酸化窒素及びメタンの排出要因の検討，東京都環境科学研究所年報

1992，p3~8.  
 4) 上野広行ら：ごみ焼却炉からの亜酸化窒素排出に対する炉内温度の影響，大気汚染学会誌，29，p24~31 (1994).  
 5) 上野広行ら：ボイラーからの亜酸化窒素及びメタンの排出実態，東京都環境科学研究所年報1993，p181~183.  
 6) 上野広行ら：金属加熱炉等からの亜酸化窒素及びメタンの排出実態，東京都環境科学研究所年報1994，p131~183.  
 7) 稲森悠平ら：地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排水処理施設からの発生源対策，用水と排水，33，p.28~34(1991).  
 8) 花木啓祐：地球温暖化時代の排水管理，水質汚濁研究，14，p593~598(1991).  
 9) 佐藤和明ら：下水処理場からのメタン・亜酸化窒素の放出量の解明に関する研究，平成4年度下水道関係調査研究年次報告書集，p105~110.  
 10) 安田憲二ら：下水汚泥焼却にともなう亜酸化窒素の排出挙動，廃棄物学会論文誌，5，p142~150.(1994).  
 11) 水落元之ら：下水汚泥焼却に伴うN<sub>2</sub>O放出実態について，第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集，p607~610(1993).